



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة تكريت

كلية العلوم – قسم الكيمياء

مقالة بعنوان

النانو تكنولوجيا بين الواقع والخيال

إعداد طالب الماجستير

مستطفي محمد عبد الجاسر

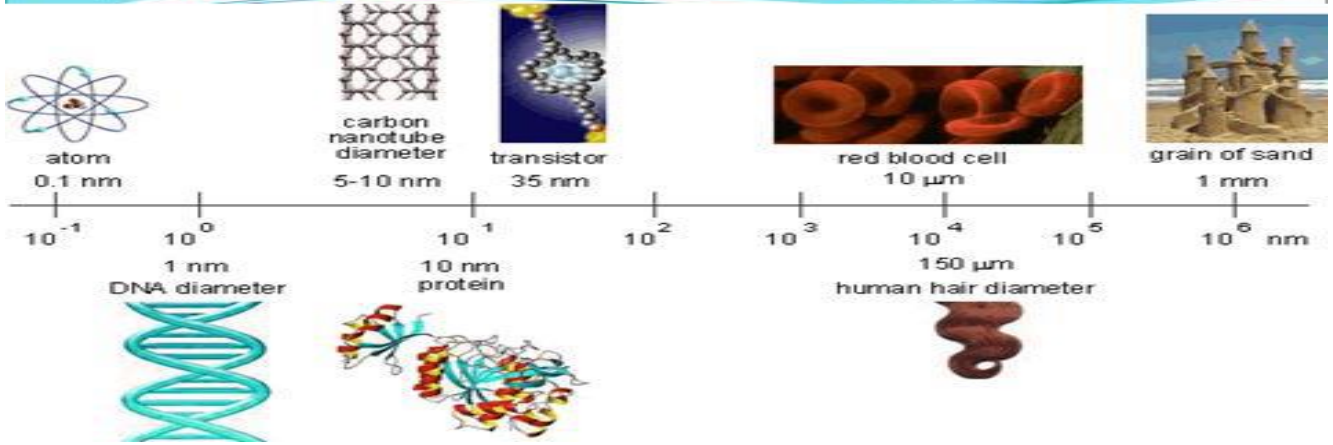
المقدمة:

كلمة «نانو» مشتقة من لفظة «نانوس» ألاغريقية ومعناها: القزم وبالتالي فعلم النانو، بداية، يهتم بالمقاسات الصغيرة للمواد والتي تسمى بالمواد النانومترية (Nanomaterial's) هذا من الناحية اللغوية والتاريخية.

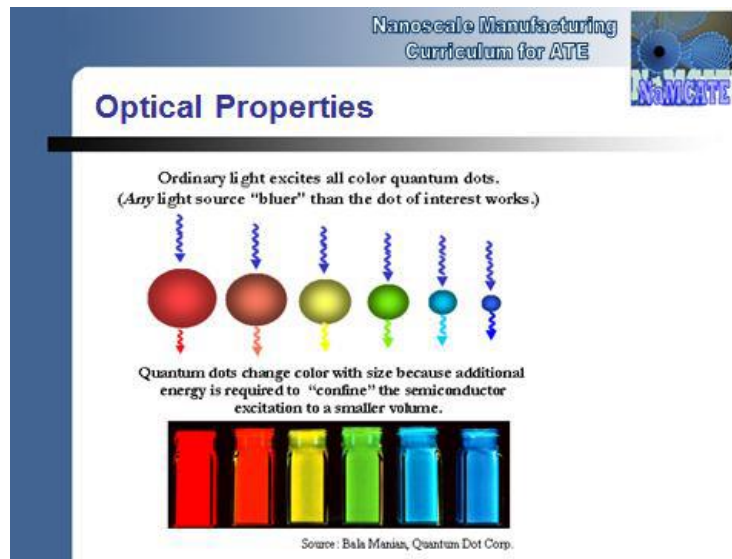
اما من الناحية العلمية

فان مصطلح نانو يعني جزء من المليار ؛ فالنانومتر هو واحد على المليار من المتر (10^{-9} m) ولكي نتخيل صغر النانو متر نذكر ما يلي ؛ تبلغ سماكة الشعرة الواحدة للإنسان 50 ميكرومتراً أي 50,000 نانو متر , وأصغر الأشياء التي يمكن للإنسان رؤيتها بالعين المجردة يبلغ عرضها حوالي 10,000 نانو متر، وعندما تصطف عشر ذرات من الهيدروجين فإن طولها يبلغ نانو متراً واحداً فيا له من شيء دقيق للغاية . والعلم الذي يتعامل مع هذه المواد ودراسة خصائصها هو علم النانو (Nanoscience) اما تطبيق هذه العلوم وهندستها لإنتاج مخترعات مفيدة فهو تقنية النانو (Nanotechnology) والذي يتعامل مع المواد ذات الأبعاد التي لا تتجاوز 100 نانومتر . الشيء الفريد في مقياس النانو أو ال " Nano Scale " هو أن معظم الخصائص الأساسية للمواد والآلات كالتوصيلية الحرارية أو الكهربائية، والصلابة ونقطة الانصهار والخواص الفيزيائية , تعتمد على الحجم (size dependent) بشكل لا مثيل له في أي مقياس آخر أكبر من النانو، فعلى سبيل المثال السلك أو الموصل النانوي الحجم لا يتبع بالضرورة قانون أوم الذي تربط معادلته التيار والجهد والمقاومة، فهو يعتمد على مبدأ تدفق الإلكترونات في السلك كما تتدفق المياه في النهر ؛ فالإلكترونات لا تستطيع المرور عبر سلك يبلغ عرضه ذرة واحدة بأن تمر عبره إلكترونات بعد الآخر , . وكذلك فإن لون المواد يتغير فالذهب بحجم النانو سيكون مائلاً للأحمر على غير الطبيعي الذي يكون اصفر وقد يكون الكربون النانوي (Nano carbon) فائق التوصيل للكهربائية (super conductive) على عكس الكربون في حالته الطبيعية . إن أخذ مقياس الحجم بالاعتبار بالإضافة إلى المبادئ الأساسية للكيمياء والفيزياء والكهرباء هو المفتاح إلى فهم علم النانو الواسع.

Why Nanoscale?

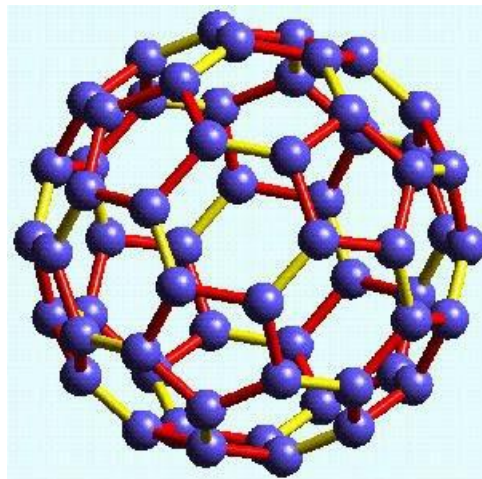


شكل (1) يبين مخطط توضيحي لماتعنيه كلمة نانو



شكل (2) يمثل العلاقة بين حجم الجزيئة والخواص البصرية لبعض المواد

ولذا فعلينا أن نتعرف على الفوائد المكتسبة والآثار السلبية لهذه الثورة التكنولوجية الجديدة والتغيرات التي ستحدثها بحياتنا لنجني ثمارها ونتجنب أو نقلل مضارها ولنكون على يقين من أنها لن تشكل خطرا على حياتنا في الوقت ذاته.



شكل (3) جزيئة نانو كربون

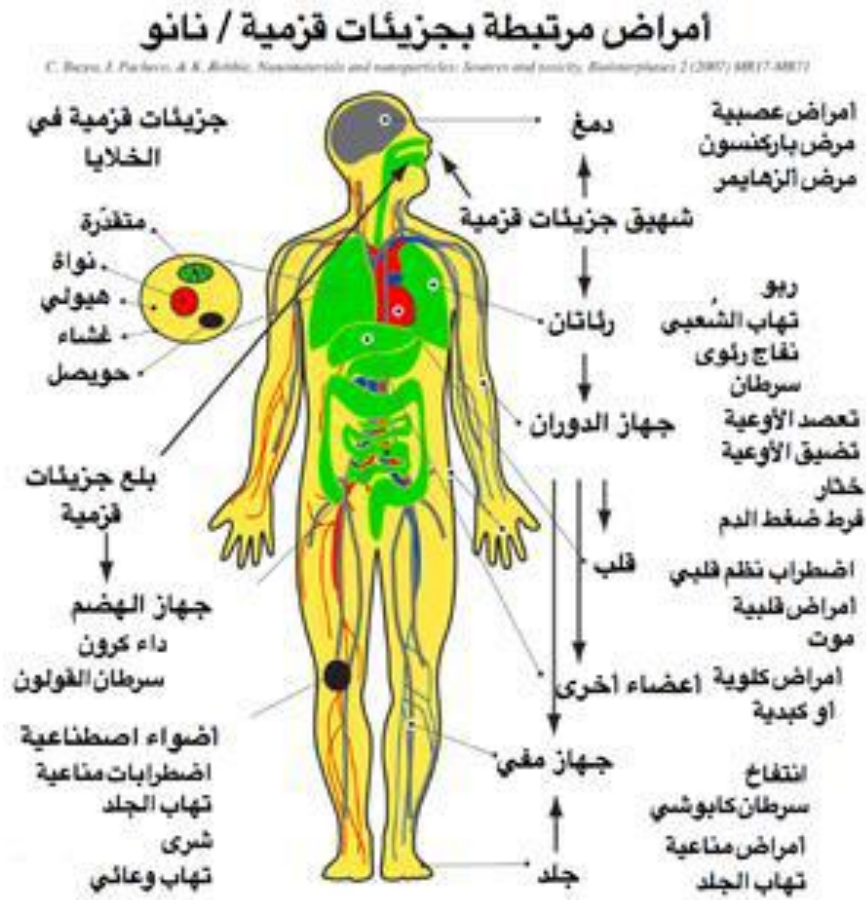
ففي مجال الطب والصيدلة دخل النانو تكنولوجيا بقوة بدءاً من تشخيص الحالات المرضية والاورام (Diagnosis) واستخدام المواد النانو مترية في إيصال المواد المخدرة (Drug delivery) لتحقيق التخدير الموضعي وتجنب التخدير العام إضافة إلى أن استخدام هندسة الجزيئات التي تستعمل بهذه الطريقة تسمح بالكشف أو معالجة الأمراض أو الإصابات ضمن الخلايا الموجهة فيمكن بهذه الطريقة استخدام (Nano-robots) لجعل الإصلاحات بشكل أدق وعلى المستوى الخلوي. واستخدمت تقنية النانو في علاج الكسور باستخدام مواد مصنعة خفيفة الوزن وتتميز بأنها أكثر قوة وقابلية لتحمل أوزان تفوق مثيلاتها المصنعة بالطرق الطبيعية من نفس المواد بعشرات المرات إن لم نقل مئات واستخدمت مواد أخرى في تصنيع حشوات الأسنان كما استخدمت مواد مثل (Nano-crystalline silver) كمادة مضادة للميكروب (مطهرة) في الجروح.

أما في مجال مراهم التجميل فقد استخدمت مواد نانومترية في صنع بعض المراهم للوقاية من أشعة الشمس فوق البنفسجية (UV) حيث أنها تحجب الأشعة كلها وفي نفس الوقت يبقى المراهم شفافاً.

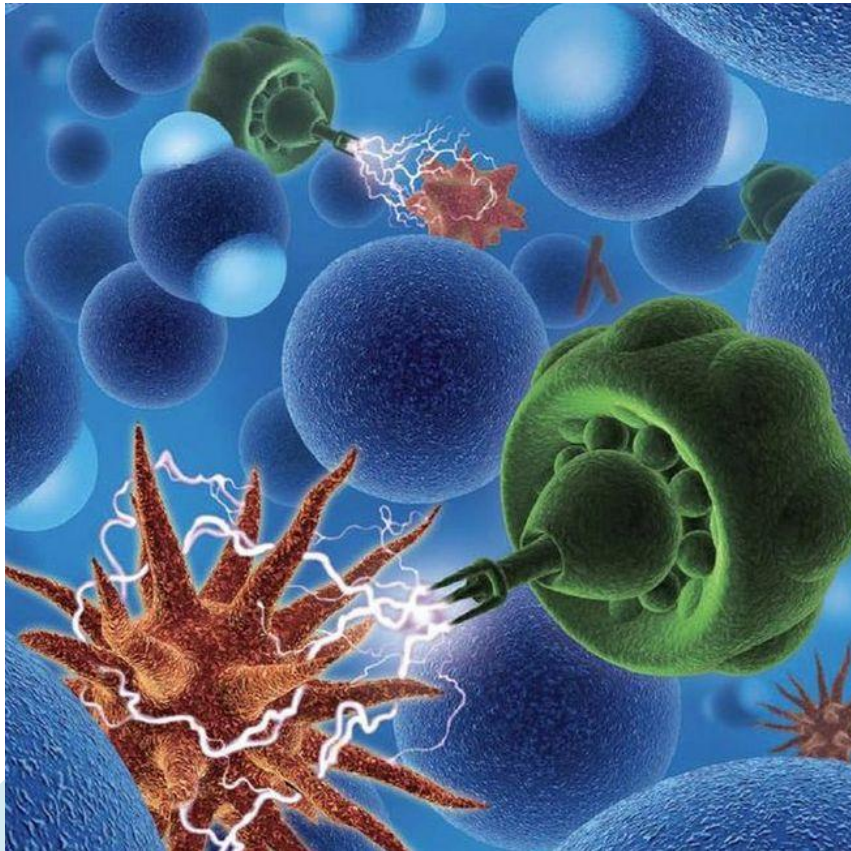
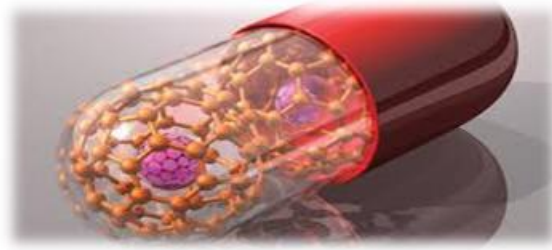
واستخدمت تقنية النانو في تصنيع أدوية وفعلاً بدأت الصين بغزو الأسواق من هذه المنتجات أما ميزتها عن الأدوية المصنعة بالطرق التقليدية فهي أن امتصاص الجسم لها سيكون سريعاً جداً وبهذا يمكن تقليل الجرعة المعطاة للمريض إضافة إلى تقليل الوقت والمال، والتجارب لازالت قائمة ومستمرة لأثبتت نجاحها في معالجة الأمراض السرطانية وقد استخدمت دقائق الذهب (Nano gold) وكذلك دقائق الماس والكربون وأخيراً استخدمت مواد مغناطيسية ذات تركيب نانوي كالحديد (Nano magnetic materials) واعتقد بأنها الأفضل نظراً لأن الحديد ليس له تأثير جانبي قوي على الجسم كونه يدخل في تركيب الدم. ويتوقع المراقبون أن تؤدي هذه التكنولوجيا الجديدة إلى ثورة غير مسبوقة للتصدي للكائنات الدقيقة بإنتاج مضادات حيوية (Antibiotics) وهو البديل الجديد للمضادات الحيوية وتعتمد على اختراق الثقب الميكانيكي للخلايا الممرضة (الجراثيم أو الفيروسات) وهذه المضادات يمكن لها أن تتجمع على هيئة أنابيب نانوية (Nanotubes) أو دبابيس نانوية متناهية في الصغر. فعند دخول ملايين من هذه الأنابيب للزجة داخل الجذر الهلامي للبكتيريا فإنها تنجذب كيميائياً إلى بعضها البعض، وتجمع نفسها إلى أنابيب طويلة متنامية ومتجمعة ذاتياً تقوم بثقب الغشاء الخلوي، وتعمل مجموعات الأنابيب المتجاورة هذه على فتح مسام أكبر في جدار الخلية البكتيرية، وخلال دقائق معدودة تموت الخلية البكتيرية نتيجة لتشتيت الجهد الكهربائي الخارجي لغشائها، وهذا ما ينهي حياة الخلية عملياً.

وقد أظهرت هذه التقنية نجاحاً ملحوظاً في القضاء على كل من الجراثيم العنقودية الذهبية وعصيات القيقح الأزرق وغيرها الكثير.

ويتوقع العلماء أن تنجح هذه التقنية النانوية في القضاء على الفطريات أيضاً علماً أن هذه المضادات النانوية تختلف تماماً عن المضادات العادية وهذا ما يجعل من الصعب للكائنات الحية أن تطور ممانعة ذاتية ضدها. ويتوقع أن تبدأ مثل هذه التجارب السريرية على البشر بعد حوالي 3 – 2 سنوات من الآن بأذن الله.



شكل (4) رسم توضيحي لاستخدام النانو في المجال الطبي



شكل (4) رسوم توضيحية لبعض الاستخدامات الطبية للنانو تكنولوجيا

أما تطبيقات النانو تكنولوجي الأخرى فهي كثيرة وواسعة جداً وسنأخذها بشي من الاختصار لان حصرها يبدو صعباً جداً

ففي مجال الاغذية

تم تطبيقها على بعض صناعات الاغذية سواء حفظها او تعليبها كما انها تقلل من مخاطر البكتريا الضارة على الصحة عن طريق قتل البكتريا من صناديق الحفظ. و تشمل فوائد تقنية النانو تحسين أساليب التصنيع ، وشبكات الطاقة ، وتحسين طرق إنتاج الأغذية على نطاق واسع، والبنية التحتية لصناعة السيارات .المنتجات المصنوعة باستخدام تقنية النانو قد تتطلب العمل اقل من الطريقة التقليدية اضافة الى ان الصيانة تكون بسيطة وغير مكلفة، وتكون ذات إنتاجية عالية، ، ولها متطلبات متواضعة للمواد، ودخلت المواد النانو مترية في صناعة الخلايا الشمسية حيث ادت الى تحسن كفاءتها , كما دخل مجال النانو في مجال الالكترونيات بصورة كبيرة وواسعة خاصة في مجال تقليل حجم الدوائر الالكترونية او زيادة كفاءتها اضافة الى استخدام الكربون النانوي كجزء اساسي في تبريد الدوائر الالكترونية.

وفي عالم الزراعة

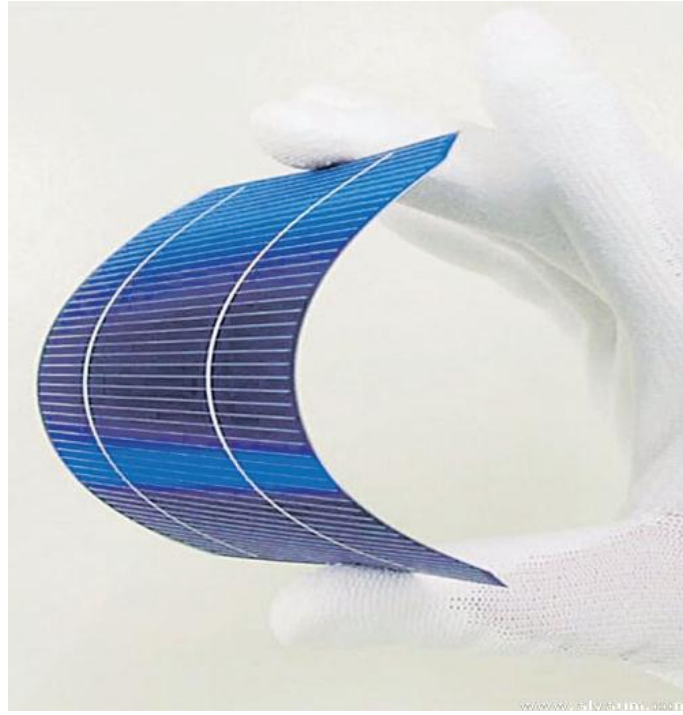
يعد النانو بثورة كبرى على صعيد استصلاح الأراضي، وزيادة خصوبة التربة ما يضاعف من إنتاج المحاصيل وبأقل مدة زمنية ممكنة، كمثل إيجاد ثلاثة مواسم لإنتاج القمح في السنة الواحدة اضافة الى انتاج الاسمدة ذات التركيب النانوي والتي ستؤدي الى تقليل تكاليف التصنيع وتقليل الكمية المستخدمة اضافة الى تقليل مخاطر الاسمدة إذا استخدمت بتركيب النانو لأنها ستمتص بسرعة فائقة ولن تبقى في الارض لفترة طويلة كما كان السمد بصورته التقليدية .وقد أصبح بالإمكان من خلال هذا العلم المعجزة معالجة مياه الشرب وتنقيتها باستخدام فلاتر نانوية. ومن خلال تقنية النانو أيضاً، صار بإمكان العلماء استخدامها في الفضاء بإنتاج اجهزة وكاميرات رقمية صغيرة وتتحمل كل الظروف المحيطة لكشف وسبر اغوار المحيط الكوني عن طريق استخدام هذه الكاميرات كونها تتحمل ظروف قاسية كالضغط والحرارة نظرا لتحسين خواصها الميكانيكية اضافة الى كفاءتها العالية وبهذا يمكن ان تكون مفيدة في الاستكشافات الفضائية , وقد تمكن العلماء من استخدام تطبيقات تكنولوجيا النانو في مجال المنسوجات لإنتاج أقمشة مضادة للجراثيم والفطريات باستخدام مركبات الفضة النانوية ، وجعل الأقمشة القطنية والصوفية غير قابلة للبلل فضلا عن إكساب هذه الأقمشة القدرة على مقاومة الحرائق وكذلك إنتاج ملابس أكثر راحة للعمال وتزويد السترات العسكرية بتقنيات التمويه عن طريق تقليل الانعكاس للضوء الساقط عليها وزيادة معدل الامتصاص وبهذا تكون غير مرئية اضافة الى الاستشعار عن بعد، والكشف المبكر عن وجود غازات سامة أو جراثيم بيولوجية أو مواد كيميائية ضارة بالهواء لتوفير حماية أكبر للجنود بتحسين الخواص البصرية والكهربائية والكيميائية للمواد باستخدام مواد نانومترية.

وسينزل عملاق الكمبيوتر " هولت باكارد " قريبا إلى السوق رقاقات يدخل في صنعها نانو اليكترونات قادرة على حفظ المعلومات أكثر بألاف المرات من الذاكرة الموجودة حاليا.

وقد تمكن باحثون في IBM وجامعة كولومبيا وجامعة نيو أورليانز من جمع جزيئين غير قابلين للاجتماع إلى بلور ثلاثي الأبعاد. وبذلك تم اختراع مادة غير موجودة في الطبيعة " ملغنسيوم مع خصائص مولده للضوء مصنوعة من نانو وأوكسيد الحديد محاطا بسيلينايد الرصاص ". وهذا هو نصف موصل للحرارة قادر على توليد الضوء. وهذه الميزة الخاصة لها استعمالات كثيرة في مجالات الطاقة والبطاريات. وقد أوردت مجله الايكونوميست مؤخرا أن الكلام بدأ عن مادة جديدة مصنوعة من نانو تضاف إلى البلاستيك والسيراميك والمعادن فتصبح قوية كالفلاد خفيفة كالعظام وستكون لها استعمالات كثيرة خصوصا في هيكل الطائرات والأجنحة، فهي مضادة للجليد ومقاومة للحرارة حتى 900 درجة مئوية. باختصار يمكن القول ان تقنية النانو ستدخل من الذرة الى المركبات الفضائية والاتصالات والجسور وتصنيع الطائرات والمركبات الفضائية.



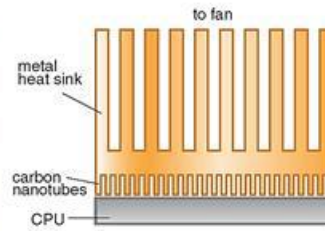
شكل (5) بعض تطبيقات النانو تكنولوجي



- The thermal conductivity of a material depends on its form (e.g. diamond is a good thermal conductor but nanotubes are 2 times better than diamond).



A CPU heat sink



A heat sink with carbon nanotubes

15



شكل (6) بعض تطبيقات النانو تكنولوجيا

رغم الجوانب الايجابية التي قد تحملها تقنية النانو إلى المستقبل من تطور وتسهيل حياة، إلا ان هنالك الكثير من الخبراء الذين يرون أن استخدام هذه التقنية في مجالات معينة من الحياة قد يكون له عواقب غير محمودة. وتعتقد منظمات البيئة والصحة العالمية في كافة أرجاء العالم مؤتمرات لبحث المخاطر التي قد تنجم من استخدام هذه التقنية، ونظم اول اجتماع عالمي لبحث اضرار النانو تكنولوجيا في بروكسل.

ونشرت منظمة Green peace العالمية أخيراً بياناً بينت فيه انها لن تدعو إلى حظر على أبحاث النانو، مشيرة إلى أن الانسان اليوم هو على أبواب عصر جديد في جميع النواحي، فلا يمكن الوقوف بوجه هذا التطور، لكنها دعت إلى محاولة تقليص السلبيات قدر الإمكان.

وهناك مجالان ينتقد فيهما العلماء تقنيات النانو، الأول هو أن النانو جزيئات صغيرة جداً إلى الحد الذي يمكنها من التسلل وراء جهاز المناعة في الجسم البشري، وبإمكانها أيضاً أن تتسلل من خلال غشاء خلايا الجلد والرئة، وما هو أكثر إثارة للقلق أن بإمكانها أن تتخطى حاجز دم الدماغ .

أما النقد الثاني فهو الخوف من أن يصبح النانو بوت ذاتي التكاثر، أي يشبه التكاثر الموجود في الحياة الطبيعية، فيمكنه أن يتكاثر بلا حدود ويسيطر على كل شيء في الكرة الأرضية.

وأظهرت دراسة جامعة اكسفورد أن نانو جزيئات ثاني أكسيد التيتانيوم الموجودة في المراهم المضادة للشمس أصابت الحمض النووي DNA للجلد بالضرر. كما أظهرت دراسة في شهر آذار (مارس) الماضي من مركز جونسون للفضاء والتابع لناسا أن نانو أنابيب الكربون تعد أكثر ضرراً من غبار الكوارتز الذي يسبب السيليكوسيس، وهو مرض مميت يحصل في أماكن العمل.

ويركز المهتمون بالبيئة ان الشيء الخطير في الموضوع أن استعمالات هذه التكنولوجيا قد بدأت تتسرب إلى حقول المواد الغذائية والقطاع الزراعي، من دون معرفة المستهلكين أو حتى فتح باب النقاش المجتمعي حولها، وإجراء الاختبارات الكافية حول سلامتها.

وأظهرت تجربة جديدة من جامعة روتشستر أجريت على فئران تنفست جزيئات النانو وتبين فيما بعد انها استقرت في الدماغ والرئتين، ما أدى إلى مضاعفات صحية خطيرة. ووجد أن جزيئات النانو ستكون قادرة على الانتشار إلى أجزاء أخرى من الجسم. ومع ذلك، فإن المعرفة حول الآثار الضارة لذلك محدودة جداً، كما تم دراسة تأثير الجزيئات النانوية على الشعب الهوائية، والعوامل التي تؤثر عليها في نهاية المطاف مثل خصائص الجزيئات (تكوينها وحجمها وقابليتها للذوبان)، وتأثير تكوين الشعب الهوائية عليها وتبين إن الامتصاص غير المقصود للمواد متناهية الصغر يمكن أن تتم عن طريق الاستنشاق، أو عبر الفم، أو من خلال الجلد. وعن طريق العين وعن طرق أخرى أيضاً يمكن أن نتصورها في المستقبل. والاستنشاق حالياً يعتبر من أهم طرق التعرض للجسيمات الدقيقة، ومقام البحث الأول في الوقت الحاضر.

كما تبين ان جزيئات الفضة النانوية المستخدمة في الملابس، لها عواقب وخيمة على جسم الإنسان. فهذه الجزيئات بكتيرية وهي قادرة على قتل البكتيريا النافعة المهمة في تحطيم المواد العضوية في النفايات ومحطات المعالجة أو المزارع.

وبين سيتون انتوني من معهد طب في ادنبره (اسكتلندا) في دراسة نشرها أخيراً أن أنابيب الكربون النانو متريّة التي تعد بثورة تكنولوجية غير مسبوقة، قد تكون ضارة وقاتلة للكائنات الحية بما فيها الانسان، لذا يجب التعامل مع هذا العلم بحرص شديد، وقد طالب باستبعاد الأغذية من هذا التطور التكنولوجي حفاظاً على البشر. خطورة النانو تكنولوجي على الصحة والبيئة وتتمثل التأثيرات البيئية لتقنيات النانو (environmental implications of nanotechnology) في تلك الآثار المحتملة لاستخدام المواد والأجهزة الخاصة بتقنيات النانو على البيئة. وعلى اعتبار أن مجال تقنيات النانو هو مجال ناشئ حديثاً، فقد انتشر النقاش والجدال حول المدى الذي قد يؤثر عنده الاستخدام الصناعي والتجاري لمواد النانو على الكائنات الحية والأنظمة البيئية. ويمكن تقسيم التأثيرات البيئية لتقنيات النانو إلى قسمين هما :

إمكانية الاستفادة من الابتكارات التقنية المصغرة في المساعدة في تحسين البيئة.

والنوع الجديد من التلوث الناجم عن مواد تقنيات النانو في حالة انبعاثها للبيئة.

ويعد تلوث تقنيات النانو مصطلحاً عاماً وشاملاً لكل النفايات الناجمة عن استخدام أجهزة التقنية المصغرة أو خلال عملية تصنيع مواد تقنيات النانو. وقد تعتبر تلك النفايات على درجة عالية من الخطورة، ذلك بسبب حجمها. حيث تستطيع أن تطفو في الغذاء.

ويجب ملاحظة عدم توافر معلومات كافية تمكننا من التأكد عما إذا كان لجزيئات النانو تأثيرات سلبية غير مرغوب فيها على البيئة. ونجد هنا نقطتين مرتبطتين بتلك القضية تتمثلان في :

(1) جزيئات النانو الحرة تنبعث في الهواء أو الماء خلال عملية الإنتاج (أو حوادث الإنتاج) أو تنبعث كنفايات عن عملية الإنتاج ومن ثم تتجمع في التربة، والماء والحياة النباتية.

(2) أما في حالتها الثابتة، عندما تمثل جزءاً من المواد المصنعة أو المنتج النهائي، فيجب حينئذ أن يتم إعادة تدويرها أو التخلص منها على أنها نفايات.

وما زال من غير المعروف لنا ما إذا كانت جزيئات النانو ستشكل طبقة جديدة من الملوثات الغير قابلة للتحلل الحيوي بصورة كاملة. وفي حالة أن يتم ذلك، فمن غير المعروف كذلك كيفية التخلص من تلك الملوثات وإزالتها من الهواء أو

الماء بسبب أن المرشحات التقليدية غير ملائمة لأداء مثل تلك المهام حيث أن مسامها كبيرة جداً لتتمكن من الامساك بجزيئات النانو.

وقد اشتملت المخاطر التي حددها أوسكوفيتش (2007) على ما يلي:

التكرار الذاتي للنانو بقوة والتي من خلال توسعها المتزايد وبصورة بطيئة تؤدي إلى محو كامل للمحيط الحيوي؛ بالإضافة إلى زيادة زعزعة استقرار تنوع المحيط الحيوي المعرض للخطر بالفعل وزيادة الفجوة القائمة فيما بين

الأغنياء والفقراء. وقد تزايد القلق تجاه الفضة النانوية والتي تستخدمها شركة سامسونج في العديد من الأجهزة المنزلية ومنها الغسالات وأجهزة تنقية الهواء.

ويمكن القول ان تأثير المواد النانوية على صحة الإنسان خطر كبير حيث أن جسيمات النانو قادرة على الدخول إلى جسم الإنسان بيسر شديد من خلال المسام وبدون أي مقاومه وتستطيع الانتشار داخل الجسم مما يلحق الضرر الصحي بالإنسان. فلك أن تتخيل أن جسيم بحجم 300 نانومتر يستطيع الدخول وبكل سهوله في خلايا جسم الإنسان وأن جسيم بحجم 70 نانومتر يستطيع الدخول وبكل سهوله في نواة الخلية وهذا يدل على الخطر الكبير الذي يمكن أن يتعرض له الإنسان فقد يحدث تفاعل بين هذه الجسيمات النانوية وخلايا جسم الإنسان مما يؤدي إلى تغيير خصائص الخلية أو تسميمها وموتها.

هذا من الناحية العامة والذي يمكن ادراكه او تصوره.... اما الاسئلة التي تتبادر الى الذهن:
ماذا لو تم استخدام جزيئات النانو في الحرب البايولوجية كناقل للبكتريا والجراثيم الفتاكة او مسبب لها؟؟
وكم ستكون الطاقة المتحررة من المواد شديدة الانفجار لو صنعت بطريقة النانو؟؟؟؟
ترى هل ستكون القوة التدميرية اضعاف مضاعفة؟؟
والسؤال الملح أكثر ماذا لو تم استخدام تقنية النانو في تصنيع اسلحة الدمار الشامل؟؟؟
هل سنستطيع السيطرة على سلسلة التفاعلات؟؟ كم هي الحرارة المتولدة؟؟ وماهي كمية الغبار الذري؟؟
وماهي مساحة انتشاره؟؟ وبالتالي ما هو حجم التدمير؟؟؟ وكم الضرر الناتج عن التلوث؟؟
وهل سيستخدم النانو تكنولوجيا يوما ما في تغيير الصفات الوراثية للبشر بإعادة تركيب الـ DNA؟؟؟

هي مجرد تساؤلات ليس إلا!!!

References:

المصادر:

١ - أ.د / عبد السلام كردي المحمدي – رئيس المركز العربي للنانو تكنولوجيا

- 2- Mochalin ،Vadym N.؛ Shenderova ،Olga؛ Ho ،Dean؛ Gogotsi ،Yury (2012-01-01). "The properties and applications of nanodiamonds". *Nature Nanotechnology* (11–23. doi:10.1038/nnano.2011.209. ISSN 1748-3387
- 3- 4th Nanoforum Report: Benefits, Risks, Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnology, June 2004. P.50.
- 4- Down on the Farm: The impact of Nanoscale Technologies on Food & Agriculture, ETC Group, Ottawa, November, 2004. Philip Anton; Richard Silbirglitt and James
- 5- Schneider, The Global Technology Revolution, RAND National Defence Research Institute, Santa Monica, 2001, P.xvii.
- 6- Borm PJA, 2003. Toxicology of ultrafine particles. Rapport d'un atelier du BIA sur « ultrafine aerosols at workplaces ». BIA Report, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz, Germany, p 41-92
- 7-Borm PJA, 2005. Hazards and risks of nanomaterials: a look forward. Compte-rendu du First International Symposium on Occupational Health Implications of Nanomaterials, 12 to 14 October 2004, Buxton, Great-Britain, Edited by the Health and Safety Executive, Great-Britain and the National Institute for Occupational Safety and Health, USA, July 2005, p 65-71. http://www.hsl.gov.uk/capabilities/nanosymrep_final.pdf
- 8- Kolosnjaj J, Szwarc H, Moussa F (2007). "Toxicity studies of carbon nanotubes". *Adv Exp Med Biol.* 620: 181–204. doi:10.1007/978-0-387-76713-0_14. PMID 18217344.
- 9- Porter ،Alexandra؛ Gass ،Mhairi؛ Muller ،Karin؛ Skepper ،Jeremy N.؛ Midgley ،Paul A.؛ Welland ،Mark (2007). "Direct imaging of single-walled carbon nanotubes in cells". *Nature Nanotechnology.* 2 (11): 713. doi:10.1038/nnano.2007.347. PMID 18654411.
- 10- Zumwalde, Ralph and Laura Hodson (March 2009). "Approaches to Safe Nanotechnology: Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials". National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH (DHHS) Publication 2009-125.
- 11- Lam CW, James JT, McCluskey R, Arepalli S, Hunter RL (2006). "A review of carbon nanotube toxicity and assessment of potential occupational and environmental health risks". *Crit Rev Toxicol.* 36 (3): 189–217. doi:10.1080/10408440600570233. PMID 16686422.
- 12- Poland ،CA؛ Duffin ،Rodger؛ Kinloch ،Ian؛ Mair ،Andrew؛ Wallace ،William A. H.؛ William (2008). "Carbon nanotubes ، MacNee ،Simon؛ Brown ،Vicki؛ Stone ،Anthony؛ Seaton introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study.". *Nature Nanotechnology.* 3 (7): 423. doi:10.1038/nnano.2008.111. PMID 18654567